



普通高等学校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材
顾 问 杨叔子 李培根 李元元

机械制造技术基础

主 编 ◎ 刘旺玉

副主编 ◎ 姚 涛

主 审 ◎ 曾志新



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



普通高等学校机械制造及其自动化专业
顾问 杨叔子 李培根 李元元

机械制造技术基础

主 编 刘旺玉
副主编 姚 涛
主 审 曾志新



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书从机械制造技术的基本概念、基本理论、基本原理和对基本技能的要求出发,以金属切削理论为基础,以机械制造工艺与装备为核心及主线,以机械零件的加工质量为目标组织内容,并对装配工艺进行了介绍。

为了方便教学,本书在知识点的组织和安排上进行了新的探索。如:将金属切削刀具与金属切削机床组织在一起;将零件加工精度与表面质量进行了糅合,将金属切削机床与夹具进行了糅合;等等。本书内容深入浅出,文字准确简洁。为便于知识点的掌握,在每章开头均有提要,末尾则进行小结,并附有思考题与练习题。

本书可用于高等学校本科机械制造及其自动化专业或机械工程及其自动化专业和近机类专业的教学,还可供从事机械制造的工程技术人员、管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/刘旺玉 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.7
ISBN 978-7-5609-7927-4

I. 机… II. 刘… III. 机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 086014 号

机械制造技术基础

刘旺玉 主编

责任编辑:姚 幸

封面设计:李 嫒

责任校对:代晓莺

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北通山金地印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:20 插页:2

字 数:419千字

版 次:2013年7月第1版第1次印刷

定 价:36.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

普通高等学校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材

编 委 会

丛书顾问: 杨叔子 华中科技大学

李元元 华南理工大学

李培根 华中科技大学

丛书主编: 张福润 华中科技大学

曾志新 华南理工大学

丛书编委 (排名不分先后)

吕 明 太原理工大学

张宪民 华南理工大学

芮执元 兰州理工大学

邓星钟 华中科技大学

吴 波 华中科技大学

李蓓智 东华大学

范大鹏 国防科技大学

王艾伦 中南大学

王 杰 四川大学

何汉武 广东工业大学

何 林 贵州大学

高殿荣 燕山大学

李铁军 河北工业大学

高全杰 武汉科技大学

刘国平 南昌大学

王连弟 华中科技大学出版社

何岭松 华中科技大学

邓 华 中南大学

郭钟宁 广东工业大学

李 迪 华南理工大学

管琪明 贵州大学

轧 刚 太原理工大学

李伟光 华南理工大学

成思源 广东工业大学

蒋国璋 武汉科技大学

程宪平 华中科技大学

前言

我国改革开放三十多年来,高等工程教育历经改革探索,目前已经基本形成了工科类本科教育的大工程培养目标和较为成熟的课程体系。“机械制造技术基础”是高等院校机械类及近机类各层次人才必修的一门学科主干专业基础课,它包括了机械制造技术的基本概念、基本理论、基本原理和基本技能。本书以金属切削理论为基础,以机械制造工艺与装备为核心及主线,以机械零件的加工质量为目标,并对装配工艺进行了介绍。

为了方便教学,全书在知识点的组织和安排上进行了新的探索。如在同类教科书中,习惯将刀具的基本概念自成一章,而将金属切削刀具与金属切削机床组织在一起。我们在教学中发现,当讲授完刀具的参考系与标注角度等内容后,应该结合具体刀具进行实例分析与测量,才能让学生更快、更好地掌握刀具的基本概念。所以,在本书中,我们将刀具基本概念与各种刀具类型融合在一起,以方便教学。另外,还将零件加工精度与表面质量进行了糅合,将金属切削机床与夹具进行了糅合,等等。编写本书时力求做到内容深入浅出,文字准确简洁。为便于知识点的掌握,在每章开头均有提要,末尾则进行小结,并附有思考题与练习题。

本书建议课堂教学时数为64学时,各章教学时数分配建议如下:第1章,8学时;第2章,12学时;第3章,16学时;第4章,14学时;第5章,10学时;第6章,4学时。本书除了可用作高等学校本科机械制造及其自动化专业或机械工程及其自动化专业和近机类专业的教材外,还可供从事机械制造的工程技术人员、管理人员学习参考。

本书由华南理工大学刘旺玉任主编,河北工业大学姚涛任副主编,华南理工大学曾志新主审。具体分工如下:刘旺玉、李勇编写第1章、第2章、第5章、第6章,刘旺玉、全燕鸣编写第4章,姚涛编写第3章。华南理工大学刘旺玉、李勇负责统稿。

在本书的编写及出版过程中,华中科技大学出版社、华南理工大学教务处、华南理工大学机械与汽车工程学院的领导和同志们给予了指导和支持,参加编审及统稿的各位老师为本书的编写付出了大量卓有成效的劳动,谨此表示诚挚

的敬意和谢意！我们在编写的过程中，参阅并引用了大量的文献资料及教材，在此无法一一列出，谨在此一并向原作者表示衷心的感谢！

限于编者的水平和时间，本书难免有错漏及不当之处，诚恳希望读者予以指正。（编者联系邮箱：mewyliu@scut.edu.cn）

编 者

2011年7月4日

目录

概论	(1)
第 1 章 金属切削过程的基础知识	(3)
1.1 基本定义	(3)
1.2 刀具材料	(22)
1.3 金属切削常用刀具与材料	(29)
本章小结	(43)
思考题与练习题	(44)
第 2 章 金属切削过程的基本规律及其应用	(46)
2.1 金属切削过程的基本规律	(46)
2.2 金属切削过程基本规律的应用	(87)
2.3 金属切削发展的几个前沿方向	(101)
本章小结	(106)
思考题与练习题	(106)
第 3 章 零件加工工艺	(108)
3.1 零件加工工艺基本知识	(109)
3.2 机械加工工艺规程设计	(120)
3.3 工艺尺寸链	(141)
3.4 计算机辅助工艺规程设计	(150)
3.5 典型零件的加工工艺分析	(151)
本章小结	(167)
思考题与练习题	(168)
第 4 章 金属切削加工机床与夹具	(170)
4.1 加工回转面的主要定位原理	(170)
4.2 车床及夹具	(173)
4.3 钻床及夹具	(178)
4.4 镗床及夹具	(182)
4.5 磨床及夹具	(187)

4.6 非回转体加工机床与夹具	(193)
本章小结	(208)
思考题与练习题	(208)
第5章 机械加工质量	(210)
5.1 机械加工质量概述	(210)
5.2 零件加工质量对零件服役过程的影响	(214)
5.3 影响机械加工质量的因素	(218)
5.4 提高机械加工质量的方法和途径	(259)
5.5 机械加工过程中的振动问题	(270)
本章小结	(279)
思考题与练习题	(280)
第6章 机器装配工艺	(286)
6.1 机器装配基本问题概述	(286)
6.2 保证装配精度的方法	(289)
6.3 装配工艺规程的制定	(307)
本章小结	(311)
思考题与练习题	(312)
参考文献	(314)

概 论

机械制造(machinery manufacturing)是指通过生产活动,将原材料转变为机械产品的过程。组成机械产品的最小单元是零件,由零件可以组装成组件、部件,直至最终产品。因此,机械制造是从零件的制造开始的。

任何零部件进入制造之前,需要完成一系列技术文件的制订,如材料的选择,结构的设计与校核,设计图的绘制,生产工艺的制订,生产条件(如厂房、资金、人员、生产设备、检测设备等)的准备等相关工作。其中,材料的选择涉及机械工程材料、材料力学等相关课程的学习;零件的结构设计与校核涉及机械设计、材料力学、理论力学等相关课程的学习;而生产工艺的制订、生产条件的准备等相关知识,则必须通过本课程的系统学习才能获得理论上的认知。机械零部件从原材料到产品的成形方式有许多种,如铸造、锻造(含热锻与冷冲压)、焊接、切削加工等。传统上,根据零件在高温下是否发生重结晶过程,将零部件成形加工划分为热加工和冷加工。如铸造和热锻、焊接等成形方法,材料需要在高温下变形、重结晶,一般称为热加工;而切削、冷冲压、铆接或螺纹连接等,一般在重结晶温度下进行,所以,与其相关的生产活动称为冷加工。其中切削加工伴随着材料去除,因此也称为材料去除加工。采用金属切削方法制造机械零件,产品的形状、尺寸容易控制,精度较高,设备简单,可获得各种复杂形状的表面,因此,切削加工是机械零部件制造中主要的加工方式。据美国制造业的官方报道称,全美80%以上的零件均采用金属切削方式成形。由此可见,金属切削是机械制造的主要方法与手段。本书主要介绍基于切削加工工艺的机械制造技术的主要方法、原理与基本规律,围绕机械加工系统中各系统要素,如金属切削刀具、工件、刀具材料、机床、夹具,切削力、切削热等对零件的加工质量、加工效率和经济性(加工成本)三要素的影响规律展开讨论,主要知识点与本书内容的组织方式如图0.1所示。

学习本课程,应首先了解课程各个知识点的组织框架,掌握课程的学习目的与任务。在学习过程中,应结合工程训练、实验课程和现场教学等环节,加深对基本概念、基本原理的认识,在此基础上,以零件加工质量、效率与成本为目标,利用零件尺寸、几何精度获得方法,学会制订零件加工工艺规程的基本原则

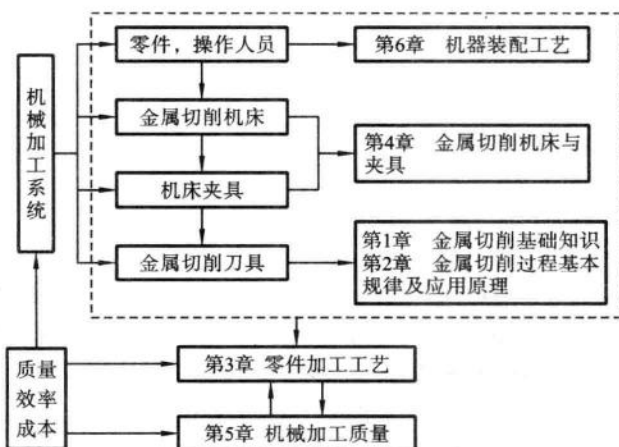


图 0.1 主要知识点与本书内容的组织方式

与技能；学会利用金属切削的基本规律，正确选用合适的刀具和切削参数；学会利用机床的基本成形原理，正确选用合适、经济的加工方法等；达到本课程教学的基本目的。

第 1 章 金属切削过程的基础知识

本章提要

目前,绝大多数零件的机械加工都要通过金属切削过程来完成。金属切削过程是指用刀具从工件上切除多余的金属,使工件获得规定的加工精度与表面质量。因此,要进行优质、高效与低成本的生产,就必须重视对金属切削过程的研究。

本章主要介绍金属切削过程的基础知识,分为以下三大部分。

(1) 基本定义 介绍金属切削过程方面的一些基本概念,它包括切削运动、切削用量、参考系(如基面、切削平面、主剖面等)、刀具标注角度、切削层参数等。

(2) 刀具材料 介绍刀具材料应具备的性能(如硬度、耐磨性、强度、韧性、耐热性、工艺性、经济性等),介绍两种常用的刀具材料(高速钢、硬质合金)和其他刀具材料(如涂层、陶瓷、人造金刚石、立方氮化硼等)。

(3) 金属切削常用刀具 介绍以车刀、刨刀和镗刀为代表的切刀;孔加工刀具如麻花钻、铰刀、铣刀等;齿轮加工刀具及砂轮等的几何形态及主要刀具标注角度等。



1.1 基本定义

金属切削,即金属成形工艺中的材料去除加工成形方法,在当今的机械制造中仍占有很大的比例。常用的切除成形方法有车削、铣削、刨削、磨削等。

金属切削过程是工件和刀具相互作用的过程。刀具从待加工工件上切除多余的金属,并在控制生产率和成本的前提下,使工件得到符合设计和工艺要求的几何精度、尺寸精度和表面质量。为实现这一过程,工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动,它由金属切削机床提供。机床、夹具、刀具和工件构成一个机械加工工艺系统。金属切削过程的各种现象和规律都将在这个系统的运动状态中去研究。

1.1.1 切削运动与切削用量

在金属切削中,为了从工件中切去一部分金属,刀具与工件之间必须形成一定的切削运动。如车削外圆时,工件作旋转运动,运动轨迹为圆,可看做是成形运动中的母线;刀具作连续纵向直线运动,运动轨迹为直线,可看做成形运动中的导线。当母线沿导线运动时,便形成了工件的外圆柱表面。在新的表面的形成过程中,工件上有三个依次变化的表面(见图 1.1)。

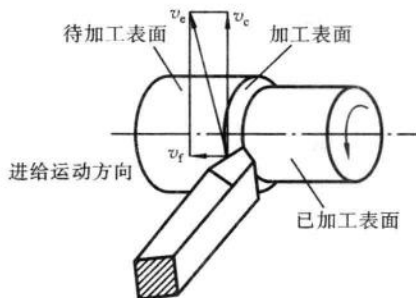


图 1.1 外圆车削时的发生面与切削运动

- (1) 待加工表面 工件上即将被切去金属层的表面。
- (2) 加工表面 切削刃正在切削着的表面。
- (3) 已加工表面 已经切去一部分金属形成的新表面。

这些定义也适用于其他切削形式。图 1.2(a)、图 1.2(b)、图 1.2(c)分别表示了刨削、钻削、铣削时的切削运动,其中虚线所示为待加工表面,虚线一端的实线所示为已加工表面,而与刀具啮合的表面为加工表面。

1. 切削运动

金属切削机床的基本运动有直线运动和回转运动,按切削时工件与刀具相对运动所起的作用来分,可分为主运动和进给运动。

1) 主运动

直接切除工件上的切削层,使之转变为切屑,以形成工件新表面的运动称

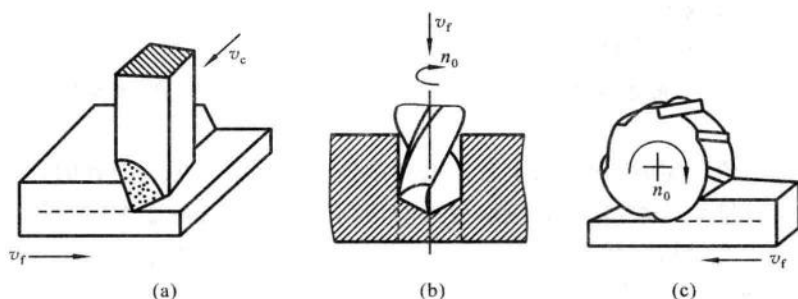


图 1.2 刨钻铣时的切削运动

(a) 刨削 (b) 钻削 (c) 铣削

为主运动。通常主运动的速度最高,消耗机床功率最多。机床的主运动只有一个。车、铣、钻、镗削的主运动是工件与刀具的相对旋转运动,而刨削时刨刀及拉削时拉刀的直线运动等则是主运动。

2) 进给运动

使新的金属切削层不断投入切削的运动称为进给运动。它保证切削工作连续或反复进行,从而切除切削层形成已加工表面。例如车刀的纵向移动或横向移动,钻头、铰刀的轴向移动及铣削时工件的纵向、横向移动等都是进给运动。进给运动可以是连续运动,也可以是间歇运动。通常,切削加工中的主运动只有一个,而进给运动可能有一个或数个。

3) 合成运动与合成切削速度

当同时具有主运动与进给运动时,刀具切削刃上某一点相对工件的运动称为合成切削运动,其大小与方向用合成速度向量 v_c 表示。如图 1.1 所示,合成速度向量等于主运动速度与进给运动速度的向量和,即

$$v_c = v_c + v_f \quad (1.1)$$

2. 切削用量三要素

在切削加工过程中,需要针对不同的工件材料、刀具材料和其他技术经济要求来选定适宜的切削速度 v_c 、进给量 f 或进给速度 v_f 值,还要选定适宜的背吃刀量 a_p 值。称 v_c 、 f 、 a_p 为切削用量三要素。

1) 切削速度

主运动的线速度称为切削速度(cutting velocity)。大多数切削加工的主运动采用回转运动。回转体(刀具或工件)上外圆或内孔某一点的切削速度可表示为

$$v_c = \frac{\pi dn}{1\,000} \quad (1.2)$$

式中： d ——工件或刀具上某一点的回转直径(mm)；

n ——工件或刀具的转速(r/s 或 r/min)。

在当前生产中，除磨削速度单位用 m/s 外，其他加工的切削速度单位习惯用 m/min。

在转速 n 值一定时，切削刃上各点的切削速度不同。考虑到刀具的磨损和已加工表面质量等因素，计算时应取最大的切削速度。如外圆车削时计算待加工表面上的速度(用 d_w 代入公式)，钻削时计算转头外径处的速度。

2) 进给速度、进给量和每齿进给量

进给速度(feed rate) v_f (或 f) 是指单位时间的进给量，单位是 mm/s 或 mm/min。

进给量(feed)是指工件或刀具每回转一周或往返一次时，两者沿进给运动方向的相对位移，单位是 mm/r 或 mm/(d · st)(毫米/双行程)。

对于刨削、插削等主运动为往复直线运动的加工，虽然可以不规定进给速度，却需要规定间歇进给的进给量，其单位为 mm/(d · st)。

对于铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等多刃切削工具，在它们进行工作时，还应规定每一个刀齿的进给量(feed per tooth) f_z ，即后一个刀齿相对于前一个刀齿的进给量，单位是 mm/z(毫米/齿)。

显而易见

$$v_f = fn = f_z zn \quad (1.3)$$

3) 背吃刀量或切削深度

背吃刀量(back engagement)和切削深度(cutting depth)是同一个概念的两种表述形式，为工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离，单位为 mm。外圆柱表面车削的背吃刀量可表示为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1.4)$$

对于钻孔

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (1.5)$$

式中： d_m ——已加工表面直径(mm)；

d_w ——待加工表面直径(mm)。

1.1.2 刀具切削部分的基本定义

1. 刀具切削部分的构造要素

金属切削刀具的种类虽然很多，但它们的切削部分的几何形状与参数都有

着共性,即不论刀具构造如何复杂,它们的切削部分总是近似地以外圆车刀的切削部分为基本形态。

国际标准化组织(ISO)在确定金属切削刀具的工作部分几何形状的一般术语时,就是以车刀切削部分为基础的。刀具切削部分的构造要素(见图 1.3)及其定义和说明如下。

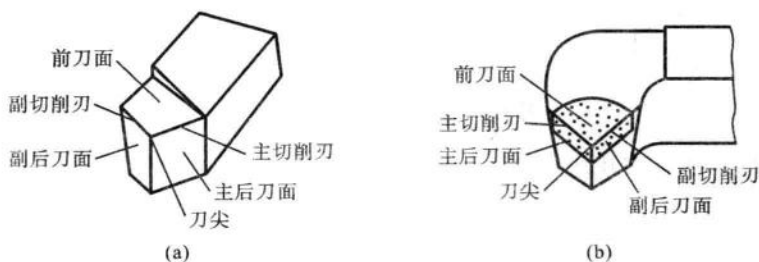


图 1.3 典型车刀切削部分的构成

(a) 外圆车刀 (b) 内圆车刀

1) 前刀面

前刀面 A_f 是直接作用于被切削的金属层,并控制切屑在它上面排出的刀面。根据前刀面与主、副切削刃相毗邻的情况区分,与主切削刃毗邻的称为主前刀面,与副切削刃毗邻的称为副前刀面。

2) 后刀面

后刀面分为主后刀面与副后刀面。主后刀面是指同工件上的加工表面相互作用和相对着的刀面,副后刀面是指与工件已加工表面相面对的刀具表面。

3) 切削刃

切削刃是指前刀面上直接进行切削的部位,有主切削刃和副切削刃之分。主切削刃是指前刀面与主后刀面相交的部位,副切削刃是指前刀面与副后刀面相交的部位。

4) 刀尖

刀尖可以是主、副切削刃的实际交点(见图 1.4),也可以是把主、副两条切削刃连接起来的一小段切削刃。它可以是圆弧,也可以是直线,通常都称为过渡刃。

2. 刀具标注角度的参考系

把刀具同工件和切削运动联系起来确定的刀具角度称为刀具的工作角度,也就是刀具在使用状态下的角度。但是,在设计、绘制和制造刀具时,刀具尚未处于使用状态下,如同把刀具拿在手里,刀具同工件和切削运动的关系尚不确

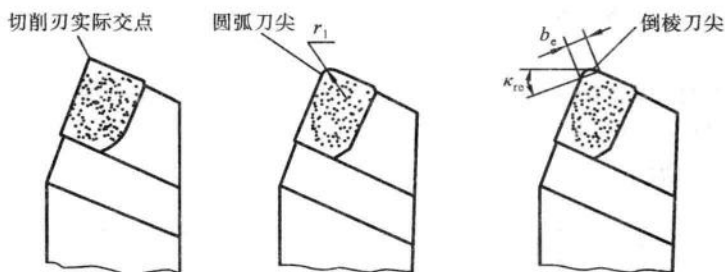


图 1.4 刀尖形状

定,这时怎样标注它的几何角度呢?

ISO 为此制定了一套便于制造、刃磨和测量的刀具标注角度参考系:任何一把刀具在使用之前,总可以知道它将要安装在什么机床上,将有怎样的切削运动,因此也可以预先假设工作条件,并据以确定刀具标注角度的参考系。

(1) 假设运动条件 首先给出刀具的假设主运动方向和假设进给运动方向;其次假设进给速度值很小,可以用主运动向量 v 近似代替合成速度向量 v_c ;然后再用平行和垂直于主运动方向的坐标平面构成参考系。

(2) 假设安装条件 假设标注角度参考系的诸平面平行或垂直于刀具上用于制造、刃磨和测量时定位与调整的平面或轴线(如车刀底面,车刀刀杆轴线,铣刀或转头的轴线等)。反之也可以说,假设刀具的安装位置恰好使其底面或轴线与参考系的平面平行或垂直。

这样一来,刀具位置是标准的,切削运动是简化的,参考系便很容易确定。而所谓的“静止系”本质上并不是静止的,它仍然是把刀具同工件和运动联系起来的一种特定的参考系。

刀具标注角度的参考系由下列诸平面构成。

1) 基面

通过切削刃选定点,垂直于假定主运动方向的平面称为基面 p_r 。通常,基面应平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量的某一安装定位平面或轴线。例如,图 1.5 所示为普通车刀、刨刀的基面 p_r ,它平行于刀具底面。

钻头、铣刀和丝锥等旋转类刀具,其切削刃各点的旋转运动(即主运动)方向垂直于通过该点并包含刀具旋转轴线的平面,故其基面 p_r 就是刀具的轴向剖面。图 1.6 所示为钻头切削刃上选定点的基面。

2) 切削平面

通过切削刃选定点,与主切削刃相切,并垂直于基面 p_r 的平面称为切削平面 p_s ,也就是主切削刃与切削速度方向构成的平面(见图 1.7)。

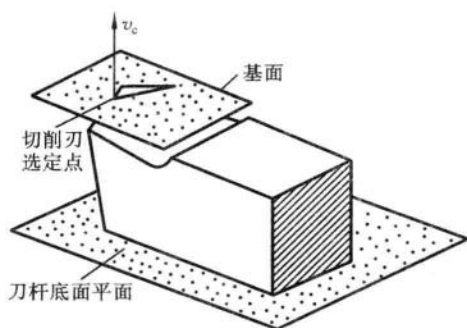
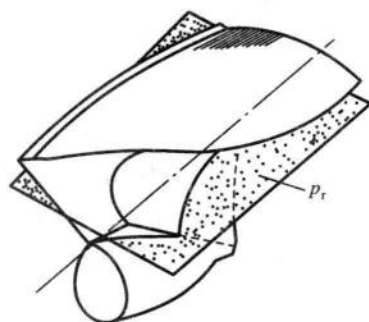
图 1.5 普通车刀的基面 p_r 

图 1.6 钻头的基面

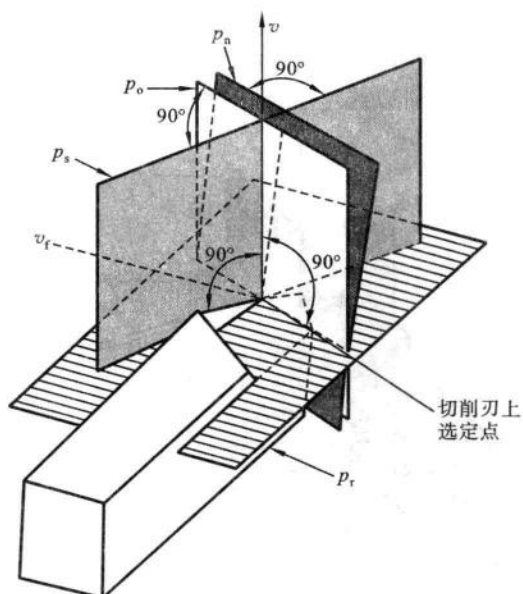


图 1.7 正交平面与法平面的参考系

基面和切削平面十分重要。这两个平面加上以下所述的任一平面,便构成各种不同的刀具标注角度参考系。可以说,不懂得基面和切削平面就不懂得刀具。

3) 正交平面 p_o 和正交平面参考系

正交平面是指通过切削刃选定点,同时垂直于基面 p_r 和切削平面 p_s 的平面。由此可知,正交平面垂直于主切削刃在基面上的投影。图 1.7 表示由 p_r - p_o - p_s 组成的一个正交平面参考系。由图 1.7 可知,两个参考系的基面和切